

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Факультет вычислительной математики и кибернетики

**УТВЕРЖДАЮ**  
декан факультета вычислительной  
математики и кибернетики

  
/И.А. Соколов /  
«27» сентября 2022г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине  
Статистическая физика

---

**Уровень высшего образования:**  
бакалавриат

**Направление подготовки / специальность:**  
01.03.02 "Прикладная математика и информатика" (3++)

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Искусственный интеллект и анализ данных

**Форма обучения:**  
очная

Рассмотрен и утвержден  
на заседании Ученого совета факультета ВМК  
(протокол №7, от 27 сентября 2022 года)

Москва 2022

# 1. ФОРМЫ И ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

В процессе и по завершении изучения дисциплины оценивается формирование у студентов следующих компетенций:

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
Содержание и код компетенции.	Индикатор (показатель) достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-2. Способен использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	ОПК-2.1. Знание приемов написания и анализа алгоритмов и компьютерных программ; ОПК-2.2. Способность анализировать и конструировать конкретные алгоритмы на языке высокого уровня для решения разнообразных математических задач на компьютере. ОПК-2.3. Знание парадигм структурного, процедурно-модульного и объектно-ориентированного программирования на языке высокого уровня.	Знать Возникновение и развитие основных физических и математических моделей явлений, происходящих в макроскопических средах; Роль и место статистической физики и термодинамики в системе физических знаний;4. Характер и особенности развития статистической физики в определенные исторические периоды, оценить вклад, внесенный в статистическую физику и термодинамику великими учеными прошлого; Уметь Устанавливать связи статистической физики с другими разделами физики и математики; Владеть навыками работы с литературой, особенностями библиографического поиска, научиться правильно цитировать и ссылаться на использованные материалы.

## 1.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости осуществляется путем оценки результатов выполнения заданий практических (семинарских) занятий, самостоятельной работы, предусмотренных учебным планом и посещения занятий/активность на занятиях.

В качестве оценочных средств текущего контроля успеваемости предусмотрены:

контрольная работа

Контрольная работа № 1	
Вариант 1	Вариант 2
1В сосуде при температуре $T$ находится $N$	1Вывчислите средние значения проекции и

<p>молекул идеального газа. Найдите число частиц, имеющих одновременно проекцию скорости на ось <math>Oz</math> в интервале <math>(v_z, v_z + dv_z)</math> и составляющую скорости, перпендикулярную этой оси, модуль которой лежит в интервале <math>(v_{\perp}, v_{\perp} + dv_{\perp})</math>. Масса каждой молекулы <math>m_0</math>.</p> <p>2 Цилиндр разделен теплонепроницаемым подвижным поршнем на две части. Слева и справа от поршня находится по два моля одноатомного идеального газа. Температура слева поддерживается постоянной и равной <math>T_1</math>, а справа – <math>T_2</math>. Поршень перемещают так, чтобы он разделил сосуд на две равные части. Подсчитайте изменение энтропии <math>\Delta S</math> системы. Увеличилась или уменьшилась энтропия? Объясните, почему?</p> <p>3 Найдите распределение температуры в веществе, находящемся между двумя большими параллельными пластинами площадью <math>S</math>, если их поддерживают при температурах <math>T_1</math> и <math>T_2</math>, расстояние между ними равно <math>l</math> и коэффициент теплопроводности <math>\kappa = \alpha T^{3/2}</math>, где <math>\alpha</math> – константа. Теплоемкостью вещества между пластинами можно пренебречь.</p>	<p>модуля проекции скорости молекулы идеального газа на некоторое направление, если масса каждой молекулы газа <math>m_0</math>, а его температура – <math>T</math>.</p> <p>2 Цилиндр разделен теплонепроницаемым подвижным поршнем на две части. Слева и справа от поршня находится по молю двухатомного идеального газа. Температура слева поддерживается постоянной и равной <math>T_1</math>, а справа – <math>T_2</math>. Поршень перемещают так, чтобы он разделил сосуд на две равные части. Подсчитайте изменение энтропии <math>\Delta S</math> системы. Увеличилась или уменьшилась энтропия? Объясните, почему?</p> <p>3 Найдите распределение температуры в веществе, находящемся между двумя большими параллельными пластинами площадью <math>S</math>, если их поддерживают при температурах <math>T_1</math> и <math>T_2</math>, расстояние между ними равно <math>l</math> и коэффициент теплопроводности <math>\kappa = \alpha T</math>, где <math>\alpha</math> – константа. Теплоемкостью вещества между пластинами можно пренебречь.</p>
<b>Контрольная работа № 2</b>	
<b>Вариант 1</b>	<b>Вариант 2</b>
<p>1 Найдите КПД цикла, состоящего из двух изохор с объемами <math>V_1</math> и <math>V_2</math> (<math>V_2 &gt; V_1</math>) и двух адиабат. Рабочим веществом является один моль газа Ван-дер-Ваальса, константы <math>a</math> и <math>b</math> которого известны, а молярная теплоемкость <math>C_V</math> не зависит от температуры.</p> <p>2 Докажите соотношение Максвелла <math display="block">\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p.</math></p> <p>3 В первом состоянии один моль идеального газа находится в цилиндре высотой <math>H</math> и площадью <math>S</math> в поле силы тяжести <math>g</math>. Затем его переводят во второе состояние, деформировав сосуд в цилиндрический сосуд высотой <math>H/2</math> и такого же объема. Найдите, с помощью статсуммы на какую величину <math>\Delta F_{12}</math> изменится свободная энергия. Затем начинается свободное падение сосуда (третье состояние), что соответствует отключению гравитационного поля. Найдите, на какую величину <math>\Delta F_{23}</math> изменится свободная энергия.</p>	<p>1 Найдите КПД цикла, состоящего из адиабаты, изотермы (температура <math>T_1</math>, объем уменьшается от <math>V_2</math> до <math>V_1</math>) и изохоры (объем <math>V_1</math>, температура увеличивается от <math>T_1</math> до <math>T_2</math>). Рабочим веществом является газ Ван-дер-Ваальса, константы <math>a</math> и <math>b</math> которого известны, а теплоемкость <math>C_V</math> не зависит от температуры.</p> <p>2 Докажите соотношение Максвелла <math display="block">\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p.</math></p> <p>3 В первом состоянии один моль идеального газа находится в цилиндре с поршнем высотой <math>H</math> площадью <math>S</math> в поле силы тяжести <math>g</math>. Затем его переводят во второе состояние, опустив поршень до высоты <math>H/2</math>. Найдите, с помощью статсуммы на какую величину <math>\Delta F_{12}</math> изменится свободная энергия. Затем начинается свободное падение сосуда (третье состояние), что соответствует отключению гравитационного поля. Найдите, на какую</p>

<p>Температура <math>T</math> поддерживается постоянной. Масса одной молекулы <math>m_0</math>. Увеличивается или уменьшается свободная энергия, объясните, почему.</p>	<p>величину <math>\Delta F_{23}</math> изменится свободная энергия. Температура <math>T</math> поддерживается постоянной. Масса одной молекулы <math>m_0</math>. Увеличивается или уменьшается свободная энергия, объясните, почему</p>
---	---

## 1.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация осуществляется в форме зачета

В качестве средств, используемых на промежуточной аттестации предусматривается:

Билеты

## 1.3. Типовые задания для проведения промежуточной аттестации

Вопросы к зачету

1. Предмет и методы статистической физики. Броуновское движение. Зависимость среднего квадрата смещения от времени.
2. Примеры плотностей распределения вероятности. Совместные, парциальные и условные плотности вероятности. Независимые случайные величины.
3. Давление идеального газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории.
4. Фазовое пространство и распределение в нем. Уравнение Лиувилля. Его стационарные решения: микроканоническое и каноническое распределения.
5. Распределение по проекциям скоростей. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.
6. Закон распределения энергии по степеням свободы.
7. Среднеквадратичная скорость молекулы и средний модуль скорости. Частота соударения молекул и длина свободного пробега.
8. Явления переноса: диффузия, вязкость и теплопроводность. Элементарный расчет соответствующих коэффициентов. Дифференциальное уравнение диффузии и его решение.
9. Внутренние и внешние термодинамические параметры. Внутренняя энергия идеального газа и его теплоемкость. Внешняя работа. Теплота.
10. Первый закон термодинамики в частном случае параметров  $T$  и  $V$  и для других сопряженных термодинамических параметров.
11. Второй закон термодинамики. Адиабатический процесс. Цикл Карно. Второй закон термодинамики в формулировках Карно и Томсона.
12. Термодинамическое определение энтропии. Энтропия как функция состояния в общем случае. Информационный смысл энтропии.
13. Энтропия как мера неопределенности молекул идеального газа. Информационный смысл энтропии.
14. Энтропийная формулировка второго закона термодинамики. Обратимые и необратимые процессы.
15. Внутренняя энергия и энтальпия как термодинамические потенциалы. Выражения для  $C_V$  и  $C_P$  через них.
16. Связь равновесного распределения термодинамических параметров со свободной энергией.
17. Свободная энергия и потенциал Гиббса. Второй закон термодинамики в случае изотермических процессов. Максимальная работа и критерий устойчивости состояния.
18. Статистическая сумма (интеграл) и ее связь со свободной энергией. Определение термодинамических функций при помощи статистической суммы.
19. Парциальная плотность распределения вероятности по внутренним термодинамическим параметрам. Микронарушения второго закона термодинамики.
20. Потенциал взаимодействия молекул реального газа. Статистическая сумма для газа Ван-дер-Ваальса.
21. Уравнение Ван-дер-Ваальса и физический смысл постоянных  $a$  и  $b$ . Термодинамические функции газа Ван-дер-Ваальса.
22. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическая точка. Расчет постоянных Ван-дер-Ваальса методом статистической суммы.
23. Выражение, определяющее энтропию через распределение в фазовом пространстве.
24. Флуктуации основных термодинамических параметров.

25. Частный случай флуктуаций для переменных  $(V, T)$ . Флуктуации объема при фиксированном давлении и флуктуации числа частиц в выделенном объеме для газа Ван-дер-Ваальса.
26. Цепочка уравнений ББГКИ для равновесных функций плотности распределения.
27. Одно- и двухчастичные функции в приближении малых взаимодействий. Примеры применения.
28. Идея получения неравновесной цепочки уравнений ББГКИ из уравнения Лиувилля.

### Типовые задачи для промежуточной аттестации.

<p>1. Произвольная термодинамическая система квазистатически переводится из равновесного состояния 1 в равновесное состояние 2 двумя способами. При первом способе система адиабатически охлаждается до температуры <math>T_0</math>, затем изотермически получает тепло, и, наконец, адиабатически переходит в состояние 2. При втором способе переход осуществляется по произвольному пути, однако так, что на каждом участке этого пути система получает теплоту, а ее температура остается выше <math>T_0</math>. Покажите, что при первом способе для перевода системы из состояния 1 в состояние 2 она получает меньшее количество теплоты, чем во втором.</p> <p>2. Пусть имеется цилиндр, разделенный перегородкой на две равные части, объемом <math>V</math> каждая, и пусть слева и справа от перегородки находится один и тот же идеальный газ при температуре <math>T</math>. Концентрация частиц слева <math>n_{10}</math>, а справа – <math>n_{20}</math>. Подсчитайте, как изменится энтропия системы, если перегородку убрать.</p> <p>3. Обратимый цикл тепловой машины с произвольным рабочим веществом состоит из политропического нагревания, политропического охлаждения (оба процесса происходят с увеличением энтропии) и замыкается изотермой. Определите КПД цикла, если отношение максимальной и минимальной абсолютных температур в цикле равно <math>\alpha = 1,2</math>.</p>	<p>4. Определите зависимость средней длины свободного пробега молекулы идеального газа от температуры для изохорического и изобарического процессов.</p> <p>5. Металлический цилиндр радиусом <math>R</math> расположен коаксиально внутри цилиндрической оболочки радиусом <math>2R</math>. Между цилиндром и оболочкой находится вещество с коэффициентом теплопроводности <math>\kappa = const</math>. Найдите зависимость температуры цилиндра от времени, если масса его единицы длины <math>M</math>, удельная теплоемкость <math>c</math>, температура в начальный момент времени <math>T^0</math>. Температура оболочки постоянна и равна <math>T_1</math>. Теплоемкостью вещества между цилиндрами пренебречь. Теплопроводность цилиндра считать бесконечно большой.</p> <p>6. Найдите распределение температуры в веществе, находящемся между двумя большими параллельными пластинами площадью <math>S</math>, если их поддерживают при температурах <math>T_1</math> и <math>T_2</math>, расстояние между ними равно <math>l</math> и коэффициент теплопроводности <math>\kappa = \alpha\sqrt{T}</math>, где <math>\alpha</math> – константа. Теплоемкостью вещества между пластинами можно пренебречь.</p>
---	--

## 2. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: приведены в п. 1.2.)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: приведены в п. 1.2.)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки</b> (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: приведены в п. 1.2..)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач